

PERBANDINGAN PENGGUNAAN TETRAPOD DAN BATU PECAH (*RUBBLE MOUND*) UNTUK LAPIS LINDUNG *JETTY* DI MUARA SUNGAI PROGO KABUPATEN BANTUL

Ratih, Sulfiman Zalukhu, David S.V.L Bangguna*

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta

*Email: bangguna@gmail.com

Abstrak

Muara Sungai Progo terletak di Desa Ngentak, Poncosari, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sedimentasi pada muara ini cukup tinggi karena letak muara yang langsung menjorok ke pantai Pandansimo dan angkutan sedimen dari hulu sungai Progo, sehingga menambah akumulasi sedimen yang mengakibatkan terbentuknya *sand split* (lidah pasir) dan pendangkalan di Muara Sungai Progo. Pendangkalan yang terus terjadi akan meningkatkan resiko banjir yang dapat mengancam permukiman, lahan pertanian di sekitar muara sungai, serta alur pelayaran. Untuk menanggulangi masalah akan direncanakan pantai berupa *jetty*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan penggunaan tetrapod dan batu pecah (*rubble mound*) sebagai lapis lindung *jetty*. Data yang digunakan yaitu data angin, pasang surut, bathimetri, dan topografi. Arah angin dominan yaitu dari arah tenggara sebesar 53,7%. Tinggi gelombang maksimum di laut dalam adalah 2,65 m dan periode 9,62 detik. Hasil analisis menunjukkan untuk penggunaan batu pecah (*rubble mound*) sebagai lapis lindung di bagian kepala *jetty* dibutuhkan berat 10,18 ton/butir dan di bagian badan *jetty* sebesar 9,50 ton/butir. Untuk tetrapod bagian kepala *jetty* dibutuhkan berat butir 2,50 ton/butir dan bagian badan *jetty* 2,29 ton/butir.

Kata kunci: batu pecah (*rubble mound*), *jetty*, muara Sungai Progo, perbandingan, tetrapod,

Abstract

The Progo River estuary is located in Ngentak Village, Poncosari, Srandakan District, Bantul Regency, Special Region of Yogyakarta. Sedimentation at this estuary is quite high due to its direct orientation toward Pandansimo Beach and sediment transport from the upstream of the Progo River, leading to the accumulation of sediments which results in the formation of a sand spit and shallowing in the Progo River estuary. Continuous shallowing increases the risk of flooding, which could threaten settlements, agricultural land near the estuary, and navigation channels. To address this issue, the construction of coastal structures in the form of jetties is being planned. This study aims to compare the use of tetrapods and rubble mound stones as protective layers for the jetty. The data used includes wind, tidal, bathymetric, and topographic data. The dominant wind direction is from the southeast at 53.7%. The maximum deep-water wave height is 2.65 meters with a period of 9.62 seconds. Analysis results show that for using rubble mound stones as the protective layer at the jetty head, a weight of 10.18 tons per unit is required, and 9.50 tons per unit for the jetty body. For tetrapods, the required weight is 2.50 tons per unit for the jetty head and 2.29 tons per unit for the jetty body.

Keywords: comparison, jetty, Progo river estuary, rubble mound, tetrapod

1. PENDAHULUAN

Muara Sungai Progo yang terletak di kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta selama ini tertutup oleh *sand split* atau lidah pasir akibat sedimentasi yang dihasilkan oleh gelombang dan arus yang bergerak dari arah tenggara. Kondisi ini mengakibatkan *sand split* tidak dibuka sehingga terjadinya penahanan laju aliran air dari hulu ke hilir yang bermuara di pantai Pandansimo. Hal tersebut mengakibatkan aliran dari hulu akan berbelok ke barat. Penutupan muara akibat sedimen yang membentuk *sand split* tersebut akan semakin besar pada saat terjadi musim kemarau di hulu yang bersamaan dengan terjadinya pasang di muara yang terbuka ke pantai Pandansimo. Saat musim hujan akan terjadi banjir di sekitar aliran muara sungai akibat aliran air dari hulu yang terbungkus oleh *sand split* dan pendangkalan oleh sedimen yang terbawa aliran dari hulu.

Adapun beberapa penelitian terdahulu tentang perencanaan *jetty* seperti perencanaan ulang *jetty* di Muara Batu Putih Meulaboh Kabupaten Aceh Barat menggunakan Metode Hudson (Waskita, Besperi and Gunawan, 2018); (Li *et al.*, 2020). Perencanaan bangunan pemecah gelombang di Teluk Sumbreg Kabupaten Trenggalek menggunakan Metode Hudson dan Van Der Meer (Karima and Sarwono, 2017); (Marks and Jarlan, 2020). Perencanaan bangunan pengaman pantai di daerah pantai Ranowangko Kecamatan Tombariri

Kabupaten Minahasa menggunakan Metode Hudson (Winowatan, Jansen and Mamoto, 2023); (George and Cho, 2020). Perencanaan bangunan pengaman pantai TPI Ujung Batu Jepara menggunakan Metode Hudson (Ayu, Umam and Hidayati, 2022); (Yasser, 2022). *Redesign* bangunan pengaman pantai sebagai alur masuk pelayaran pelabuhan perikanan Jember menggunakan Metode Hudson (Karima and Sarwono, 2017); (Boujmaa and Khelalfa, 2022). Analisis bangunan pengaman pantai *breakwater* tipe menggunakan Metode Hudson (Riandi, Ikhsan and Amir, 2015); (Ko, Fan and Tsai, 2024). Perencanaan bangunan pengaman pantai di pantai Kalinaung Kabupaten Minahasa Utara (Sangari, Jansen and Tawas, 2019); (Eldrup, Andersen and Burcharth, 2019). Perencanaan dermaga dan *breakwater* untuk kapal LCT di Teluk Candrian Kabupaten Banyuwangi menggunakan Metode Hudson dan Van Der Meer (Riandi, Ikhsan and Amir, 2015); (Yasser, 2022). Perencanaan bangunan jetty dari bahan bronjong pada muara Tukad Melangit di Banjar Tegal Besar Kabupaten Klungkung (Habra *et al.*, 2024). Perencanaan jetty di pantai Bahagia Batam sebagai upaya pencegahan abrasi pantai (Savitri, 2023). Beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa penelitian yang sekarang memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya, baik terkait lokasi, metode maupun hasil yang diperoleh.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan penggunaan tetrapod dengan batu pecah (*rubble mound*) sebagai lapis lindung jetty di muara sungai Progo.

2. METODOLOGI

Lokasi penelitian di muara sungai Progo berada di Desa Ngentak, Poncosari, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, daerah Istimewa Yogyakarta seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Lokasi penelitian. (Google earth)

Data yang digunakan dalam penelitian meliputi data berikut ini.

1. Data Angin
Data angin diperoleh dari situs *Nasa Power DAV (Data Access Viewer)*. Pengolahan data angin dilakukan untuk mendapatkan data kecepatan dan arah angin maksimum. Pengolahan tersebut menggunakan *software WRPLOT* yang kemudian dibuat dalam bentuk mawar angin.
2. Data pasang surut
Data pasang surut diambil dari situs *Sea Level Station Monitoring Facility* dan memilih data pasang surut di Stasiun Cilacap. Data ini digunakan untuk mengukur perubahan tinggi muka air laut dan untuk menentukan tinggi puncak bangunan pengaman. Pengolahan data pasang surut dilakukan dengan menggunakan metode Admiralty.
3. Data peta topografi dan bathimetri

Peta topografi dan bathimetri menggunakan data yang diambil dari situs *Ina-Geoportal* dan menggunakan *software Global Mapper*. Peta topografi digunakan untuk menentukan ketinggian garis pantai dalam menganalisis perubahan bentuk pantai sedangkan bathimetri digunakan untuk menentukan kemiringan dasar laut.

Analisis tinggi dan periode gelombang signifikan dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

1. Fetch

Panjang fetch dihitung menggunakan *software Autocad* dan *Google earth*. Panjang fetch dibatasi jika belum mengenai pulau atau hambatan yaitu hanya diambil sepanjang 500.000 m Sedangkan untuk panjang fetch efektif dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cdot \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (1)$$

Dengan:

F_{eff} = Fetch rerata efektif (m)

X_i = Panjang segmen fetch (m)

α = Deviasi kedua sisi arah angin

2. Tinggi dan periode gelombang signifikan

Tinggi dan periode gelombang signifikan dihitung menggunakan rumus JONSWAP (Hasselmann *et al.*, 1973). Rumus tersebut dapat dilihat sebagai rumus berikut:

Tinggi gelombang (H_s):

$$H_s = \frac{U_A^2 \times 0,0016 \left(\frac{gF}{U_A^2}\right)^{1/2}}{g} \quad (2)$$

Periode gelombang (T_p)

$$T_p = \frac{U_A \times 0,2857 \left(\frac{gF}{U_A^2}\right)^{1/3}}{g} \quad (3)$$

Dengan:

H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)

T_p = Periode gelombang signifikan (detik)

U_A = Faktor tegangan angin (m/detik)

g = Gaya gravitasi (m/detik²)

F = Fetch efektif (m)

Perencanaan jetty dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

1. Lebar puncak jetty

Untuk menghitung lebar puncak digunakan rumus (Triatmodjo, 2000) sebagai berikut:

$$B = n k_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma_r}\right]^{1/3} \quad (4)$$

Dengan:

B = lebar puncak (m)

n = jumlah butir batu

k_{Δ} = koefisien lapis yang diberikan dalam Tabel 2.2

W = Berat butir batu (ton/m)
 γ_r = berat jenis batu (ton/m³)

2. Tebal dan jumlah butir batu lapis pelindung
Tebal dan jumlah butir batu lapis pelindung dihitung menggunakan persamaan (Triatmodjo, 2000) sebagai berikut:

$$t = n \cdot K_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

$$N = A n K_{\Delta} \left(1 - \frac{P}{100} \right) \left(\frac{\gamma_r}{W} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (6)$$

Dengan:

t = Tebal lapis (m)
 n = Jumlah lapis batu dalam lapis lindung
 K_{Δ} = Koefisien lapis
 W = Berat butir batu pelindung (ton)
 γ_r = Berat jenis batu pelindung (ton/ m³)
 N = Jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan
 A = Luas permukaan (m²)

3. Stabilitas batu lapis
Stabilitas berat butir batu pelindung dapat dihitung dengan persamaan Hudson (Triatmodjo, 2000) sebagai berikut:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (s_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (7)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \quad (8)$$

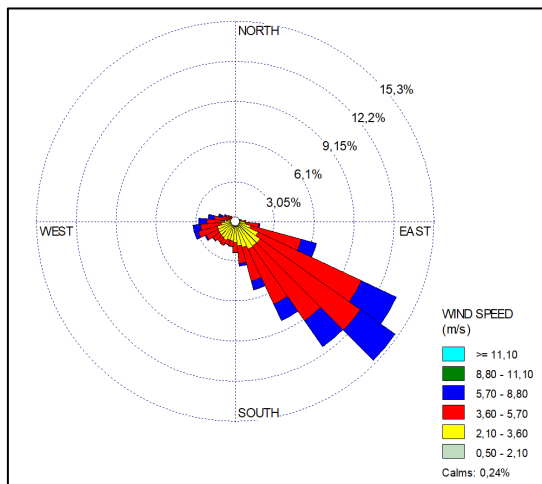
Dengan:

W = Berat butir batu pelindung (ton)
 γ_r = Berat jenis batu (ton/ m³)
 γ_a = Berat jenis air laut (1,025-1,03 ton/m³)
 H = Tinggi gelombang rencana (m)
 S_r = Perbandingan antara berat jenis batu dan berat jenis air laut
 θ = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang
 K_D = Koefisien stabilitas yang tergantung bentuk batu pelindung

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. *Windrose*

Data angin yang digunakan adalah data angin dominan berdasarkan data kecepatan dan arah angin maksimum harian. Pada penelitian ini arah angin dominan berasal dari arah tenggara dengan persentase sebesar 53,7%. Prosentase tersebut dibuat dalam bentuk *windrose* dapat dilihat pada Gambar 2 dan distribusi jumlah kejadian angin dapat dilihat pada Tabel 1.



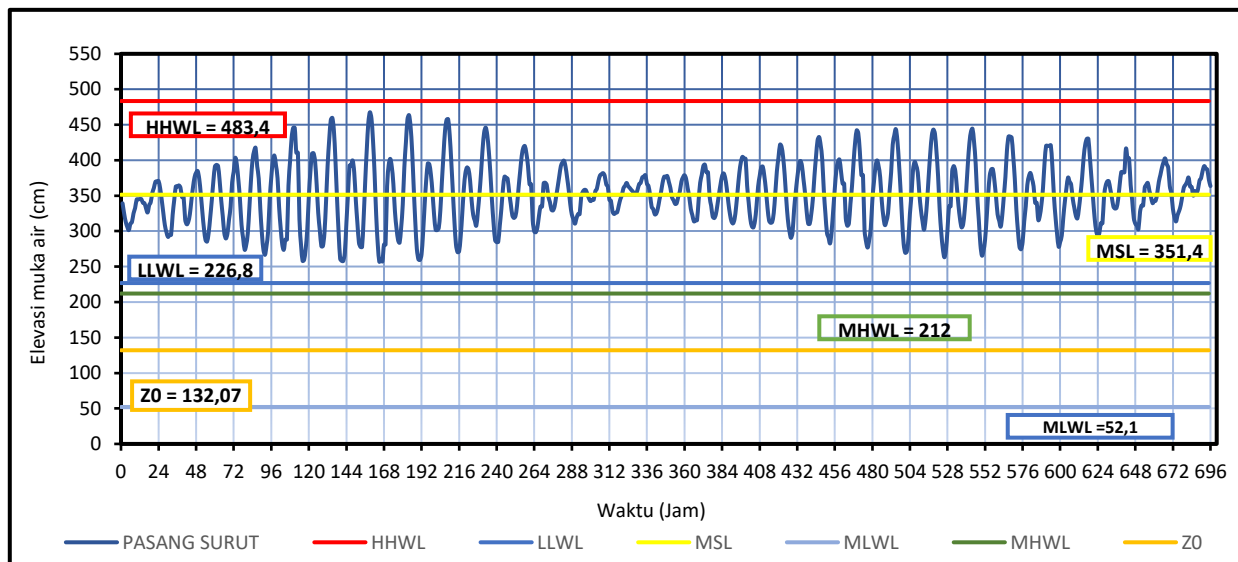
Gambar 2. Windrose arah angin dominan dari tenggara .

Tabel 1. Distribusi jumlah kejadian angin

Kecepatan Angin	Arah Angin								Total (%)
	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	
0,50 - 2,10	0,00157	0,004	0,010	0,020	0,022	0,017	0,006	0,003	0,083
2,10 - 3,60	0,00091	0,004	0,025	0,091	0,060	0,054	0,018	0,006	0,259
3,60 - 5,70	0,00037	0,001	0,054	0,320	0,033	0,052	0,034	0,007	0,500
5,70 - 8,80	0,00008	0,000	0,013	0,106	0,003	0,010	0,015	0,001	0,149
8,80 - 11,10	0,00000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
≥ 11,10	0,00000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	0,00293	0,009	0,102	0,537	0,118	0,132	0,072	0,017	100,0

3.2. Pasang Surut

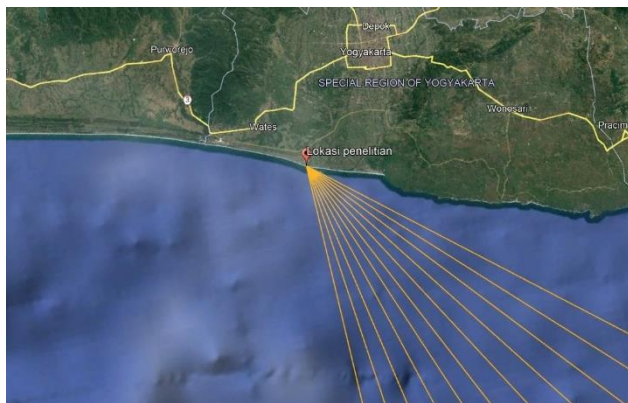
Dengan menggunakan metode Admiralty diperoleh jenis pasang surut campuran condong ke harian ganda. Grafik pasang surut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik pasang surut Cilacap.

3.3. Panjang Fetch

Berdasarkan arah angin dominan hasil pengukuran *wind rose*, maka panjang fetch juga dihitung dari arah angin dominan yaitu tenggara menggunakan Persamaan 1. Dari hasil perhitungan didapatkan panjang fetch efektif dari arah tenggara sebesar 294.317 m, dan dari arah selatan serta barat daya sebesar 500.000 m. Hasil penggambaran fetch dari arah tenggara dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Panjang fetch arah tenggara. (google earth)

3.4. Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan

Peramalan gelombang dilakukan untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang signifikan dengan menggunakan data angin. Perhitungan tinggi dan periode gelombang signifikan menggunakan Persamaan 2 dan 3. Hasil perhitungan menggunakan metode JONSWAP dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan tinggi dan periode ulang

No	U_L (m/s)	RL	U_w (m/s)	U_A (m/s)	F (m)	H_s (m)	T_p (detik)
1	4,88	1,55	7,32	8,22	500.000	2,56	9,51
2	4,83	1,55	7,24	8,11	500.000	2,43	9,34
3	4,44	1,55	6,68	7,34	500.000	2,65	9,62
4	4,17	1,55	6,28	6,80	500.000	2,14	8,96
5	5,24	1,53	7,49	8,45	294.317	2,34	8,45
6	5,42	1,53	7,70	8,75	294.317	2,42	8,54
7	5,61	1,51	7,91	9,04	294.317	2,51	8,64
8	5,45	1,51	7,79	8,86	294.317	2,46	8,58
9	5,17	1,51	7,45	8,40	294.317	2,33	8,43
10	4,95	1,52	7,42	8,35	500.000	2,49	9,41
11	4,28	1,53	6,46	7,04	500.000	2,07	8,86
12	4,26	1,54	6,44	7,01	500.000	2,53	9,47

Dari Tabel 2, didapatkan hasil tinggi gelombang maksimum di laut dalam adalah 2,65 dan periode 9,62 detik.

3.5. Perencanaan Jetty

Perencanaan jetty dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Elevasi puncak jetty

Kenaikan gelombang (*run up*) dihitung untuk menentukan elevasi puncak bangunan. *Run up* gelombang terjadi ketika gelombang menghantam bangunan dengan permukaan miring. Hasil perhitungan elevasi puncak bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Elevasi puncak bangunan jetty

Batu pecah	Kemiringan	DWL (m)	Run Up (m)	Elevasi Mercu (m)
Kepala	1:2	5,57	3,75	9,82
Badan	1:1,5	5,57	3,81	9,87
Tetrapod	Kemiringan	DWL (m)	Run Up (m)	Elevasi Mercu (m)
Kepala	1:2	5,57	2,61	8,68
Badan	1:1,5	5,57	2,61	8,68

2. Lebar puncak jetty

Lebar puncak jetty dihitung menggunakan Persamaan 4. Hasil perhitungan lebar puncak jetty dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Lebar puncak jetty

Batu pecah	N (Butir)	K_{Δ}	W (Ton/butir)	γ_r	B (m)	B desain (m)
Kepala	5	1,15	10,18	2,05	5,89	6
Badan	6	1,15	9,49	2,05	5,75	6
Tetrapod	N (Butir)	K_{Δ}	W (Ton/butir)	γ_r	B (m)	B desain (m)
Kepala	11	1,04	2,50	2,4	3,16	4
Badan	11	1,04	2,29	2,4	3,07	4

3. Tebal dan jumlah butir lapis lindung

Tebal lapis lindung dihitung menggunakan Persamaan 5 dan 6 dengan mempertimbangkan berat dan ukuran butir. Hasil rekapitulasi perhitungan tebal lapis lindung jetty dapat dilihat pada Tabel 5 dan jumlah butir lapis lindung dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Tebal lapis lindung

Batu pecah	Kepala					
	n	K_{Δ}	W (Ton/butir)	γ_r	t (m)	t desain (m)
t1	3	1,15	10,18	2,05	4,97	5
t2	2	1,15	1,02	2,05	1,82	2
Batu pecah	Badan					
	n	K_{Δ}	W (Ton/butir)	γ_r	t (m)	t desain (m)
t1	3	1,15	9,49	2,05	3,83	4
t2	2	1,15	0,95	2,05	1,78	2
Tetrapod	Kepala					
	n	K_{Δ}	W (Ton/butir)	γ_r	t (m)	t desain (m)
t1	3	1,04	2,50	2,4	2,11	3
t2	2	1,15	0,25	2,05	1,14	2
Tetrapod	Badan					
	n	K_{Δ}	W (Ton/butir)	γ_r	t (m)	t desain (m)
t1	3	1,04	2,29	2,4	2,05	3
t2	2	1,15	0,23	2,05	1,11	2

Tabel 6. Jumlah batu lindung jetty

Batu pecah	Kepala						
	A (m ²)	n	K_{Δ}	P (%)	W (Ton/butir)	γ_r	N (butir)
N1	10	3	1,15	37	10,18	2,05	5
N2	10	2	1,15	37	1,02	2,05	30
N3	10	2	1,15	37	0,05	2,05	30
Batu pecah	Badan						
	A (m ²)	n	K_{Δ}	P (%)	W (Ton/butir)	γ_r	N (butir)
N1	10	3	1,15	37	9,49	2,05	6
N2	10	2	1,15	37	0,95	2,05	30
N3	10	2	1,15	37	0,05	2,05	30
Tetrapod	Kepala						
	A (m ²)	n	K_{Δ}	P (%)	W (Ton/butir)	γ_r	N (butir)
N1	10	3	1,0	50	2,50	2,40	11
N2	10	2	1,2	37	0,25	2,05	60
N3	10	2	1,2	37	0,01	2,05	60
Tetrapod	Badan						
	A (m ²)	n	K_{Δ}	P (%)	W (Ton/butir)	γ_r	N (butir)
N1	10	3	1,0	50	2,29	2,40	13
N2	10	2	1,2	37	0,23	2,05	70
N3	10	2	1,2	37	0,01	2,05	70

4. Stabilitas lapis pelindung

Perhitungan lapis pelindung digunakan Persamaan 7 dan 8 dan dihitung menjadi dua bagian yaitu bagian kepala serta badan yang terdiri lapisan lindung pertama, lapis lindung kedua, lapis lindung ketiga. Hasil perhitungan batu lapis pelindung dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Berat batu lapis pelindung jetty

Batu pecah (<i>rubble mound</i>)	γ_r (ton/m ³)	H (m)	K _D	Sr	Cot	W ₁ (Ton/butir)	W ₂ (Ton/butir)	W ₃ (Ton/butir)
Kepala	2,05	2,60	2,8	1,99	26,57	10,18	1,02	0,05
Badan	2,05	2,81	4,0	1,99	33,69	9,49	0,95	0,05
Tetrapod	γ_r (ton/m ³)	H (m)	K _D	Sr	Cot	W ₁ (Ton/butir)	W ₂ (Ton/butir)	W ₃ (Ton/butir)
Kepala	2,40	2,60	5,5	2,33	26,57	2,50	0,25	0,01
Badan	2,40	2,81	8,0	2,33	33,69	2,29	0,23	0,01

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis menunjukkan bahwa perencanaan jetty menggunakan tetrapod lebih efisien karena beratnya lebih ringan dibandingkan dengan batu pecah (*rubble mound*). Dalam pelaksanaan di lapangan tetrapod lebih mudah dalam pengadaan dan pemasangannya dibandingkan dengan batu pecah (*rubble mound*) yang cukup sulit untuk mendapatkan material tersebut untuk ukuran yang sesuai. Tetrapod yang memiliki 3 kaki akan saling mengunci satu dengan yang lainnya saat diterjang gelombang. Kondisi ini akan menjadikan tetrapod satu kesatuan yang kokoh dan menambah stabilitas tetrapod dalam meredam energi gelombang. Sedangkan batu pecah (*rubble mound*) dengan bentuk yang seragam akan bersifat individu saat meredam gelombang, bila batu pecah digunakan untuk lapis lindung maka dibutuhkan batu pecah yang berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayu, W.N.L., Umam, K. and Hidayati, N. (2022) ‘Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai (Breakwater) TPI Ujung Batu Jepara’, *Jurnal Civil Engineering Study*, 2(01), pp. 35–43. Available at: <https://doi.org/10.34001/ces.02012022.5>.
- Boujmaa, M.A. and Khelalfa, H. (2022) ‘Geotechnical Stability Analysis of the Quay Wall of Port Ksar Sghir , Morocco’, *Journal of Earth and Marine Technology*, 2(January), pp. 73–78. Available at: <https://doi.org/10.31284/j.jemt.2022.v2i2.2374>.
- Eldrup, M.R., Andersen, T.L. and Burcharth, H.F. (2019) ‘Stability of Rubble Mound Breakwaters—A Study of the Notional Permeability Factor, Based on Physical Model Tests’, *Water*, 11(November), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.3390/w11050934>.
- George, A. and Cho, I.H. (2020) ‘Hydrodynamic Performance of a Vertical Slotted Breakwater’, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 12, pp. 468–478. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2019.12.001>.
- Habra, I.K. et al. (2024) ‘Breakwater Pada Pelabuhan Bonto Jai Kabupaten Bantaeng’, *Journal Teknik Hidro*, 17(2), pp. 1–11.
- Hasselmann, K. et al. (1973) *Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*. Hamburg: Deutsches Hydrographisches Institut.
- Karima, D.A. and Sarwono, B. (2017) ‘Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang di Teluk Sumbreng, Kabupaten Trenggalek’, *Jurnal Teknik Sipil ITS*, 6(2), pp. D284–D289.
- Ko, C.H., Fan, C.Y. and Tsai, C.P. (2024) ‘Experimental Investigation of Wave Pressure on Breakwater-Integrated Oscillating Water Column Devices with a Perforated Wall’, *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(10), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.3390/jmse12101782>.
- Li, M. et al. (2020) ‘Numerical Analysis of Vertical Breakwater Stability under Extreme Waves’, *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(986), pp. 1–15.
- Marks, W. and Jarlan, G.E. (2020) ‘Experimental Studies on a Fixed Perforated Breakwater’, *Coastal Engineering*, pp. 489–492. Available at: <https://doi.org/10.1525/9780520948068-074>.
- Riandi, I., Ikhsan, M. and Amir, A. (2015) ‘Perencanaan Ulang Jetty Di Muara Batu Putih Meulaboh’, *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik*, 1(1), pp. 96–107.
- Sangari, C.P., Jansen, T. and Tawas, H. (2019) ‘Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Pantai Kalinaung Kabupaten Minahasa Utara’, *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), pp. 975–984.

- Savitri, A. (2023) 'Perencanaan Jetty di Pantai Bahagia Batam sebagai Upaya Pencegahan Abrasi Pantai', *Jurnal Komposit*, 7(2), pp. 265–274. Available at: <https://doi.org/10.32832/komposit.v7i2.14805>.
- Triatmodjo, B. (2000) *Teknik Pantai*. Beta Offset.
- Waskita, Y.P., Besperi and Gunawan, G. (2018) 'Analisis Bangunan Pengaman Pantai Breakwater Tipe Campuran (Studi Kasus Pelabuhan Teluk Bayur Kota Padang)', *Jurnal Inersia*, 12(1), pp. 18–29.
- Winowatan, A.W., Jansen, T. and Mamoto, J.D. (2023) 'Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Di Daerah Pantai Ranowanko Kecamatan Tombariri Kabupaten Minahasa', *Tekno*, 21(85), pp. 1059–1072.
- Yasser, E.S. (2022) 'Shore Protection Using Special Perforated Breakwater with Generating Renewable Energy', *Research Square*, pp. 1–21. Available at: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1860742/v1>.